



“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE DISEÑO DEL EMBALSE VALLE HERMOSO, REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE”.

Defensa para optar al título de Geólogo

Matias Felipe Oyarzo Agurto

Profesor Guía: Abraham González Martínez

Profesores Comisión: Luis Quinzio Sinn

Ramiro Bonilla Parra

Concepción, Junio 2018

Decreto U. DEC. Nº 2017-085,
Geología

Introducción

El Embalse Valle Hermoso → Proyecto del MOP.

- 20,3 millones de metros cúbicos de agua embalsada.
- 50 mil millones de pesos (inversión estimada).
- Garantizará el riego de aprox. 1900 hectáreas y se abastecerá de agua a unas 29 localidades → 3.000 personas.

Objetivos

• Objetivo General

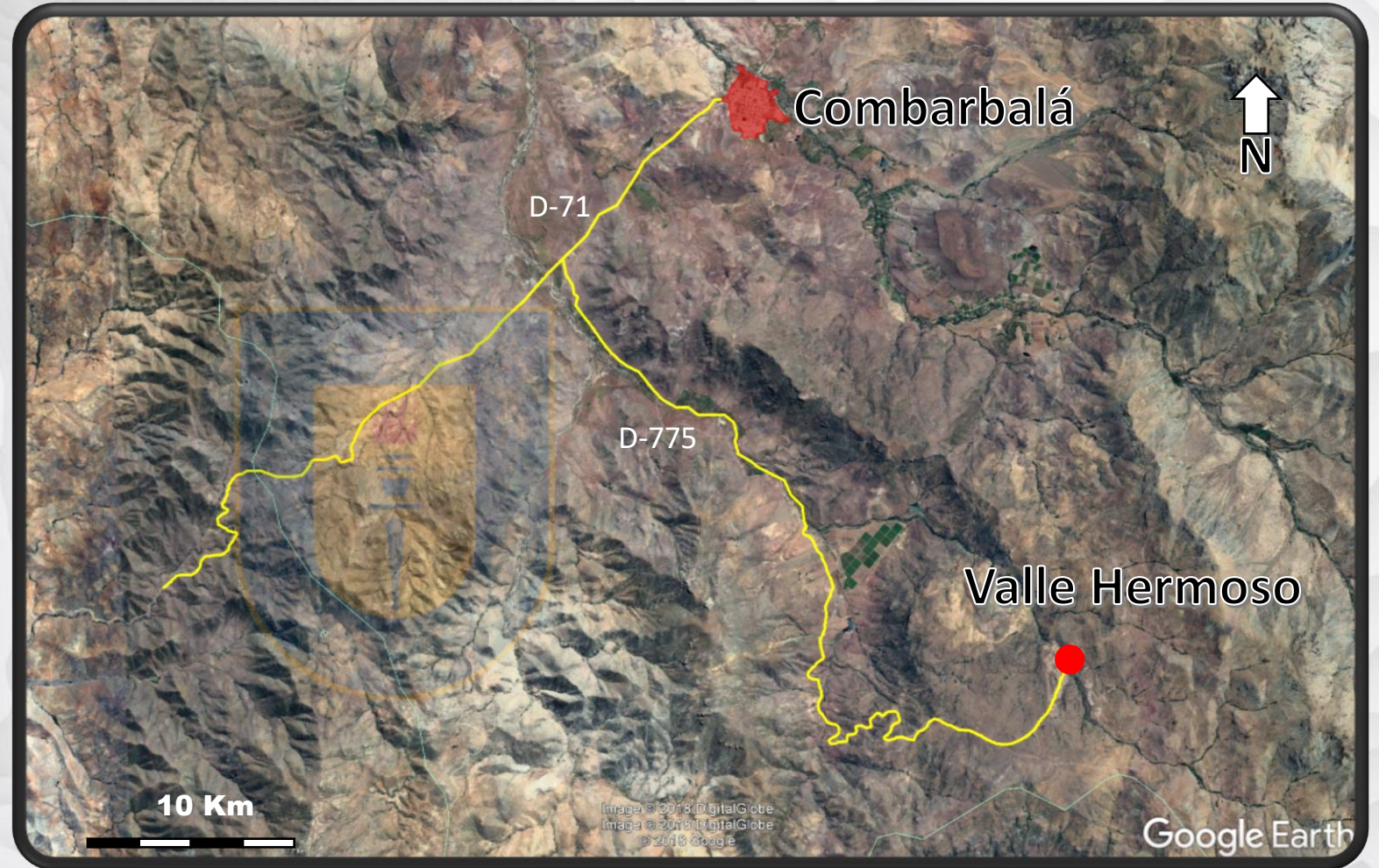
- Realizar los estudios geológicos y geotécnicos para del estudio de diseño del Embalse Valle Hermoso.

• Objetivos Específicos

- Supervisión, descripción y registro geotécnico de la campaña de sondajes (RMR y RQD; ensayos de permeabilidad).
- Realizar un mapa geológico-geotécnico 1:2.000 en la zona donde se emplazaran las obras del Embalse (muro, evacuador de crecidas, túnel de desvío, etc.) y un mapa geológico 1:10.000 del vaso del Embalse.
- Procesamiento e integración de la información geológica, geotécnica e hidrogeológica en un informe consolidado.
- Evaluación del peligro geológico en el área de estudio.

Ubicación

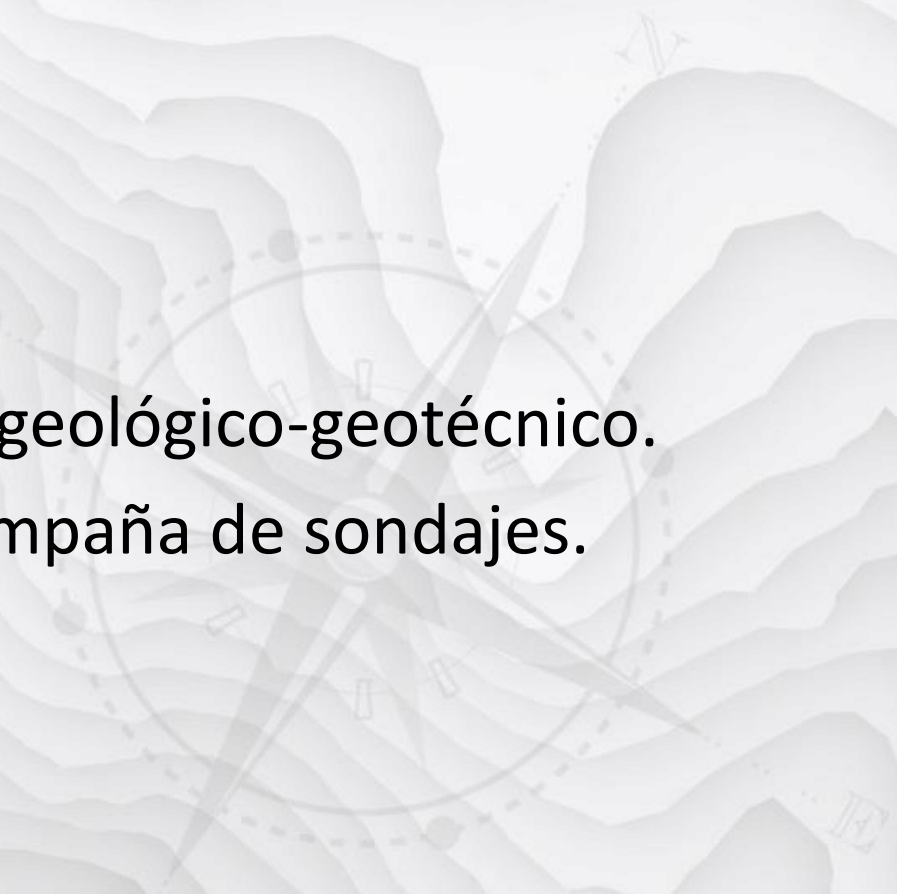
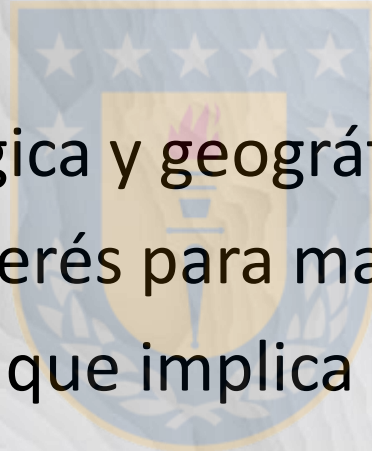
- El Proyecto Valle Hermoso se ubica a 35 km al SE de Combarbalá. En la Región de Coquimbo, en la hoya del Río Pama, en el sector “El Paso del Buey”.



Metodología

- Gabinete I

- Revisión bibliografía geológica y geográfica.
- Detección de puntos de interés para mapeo geológico-geotécnico.
- Planificación de la logística que implica la campaña de sondajes.



Metodología

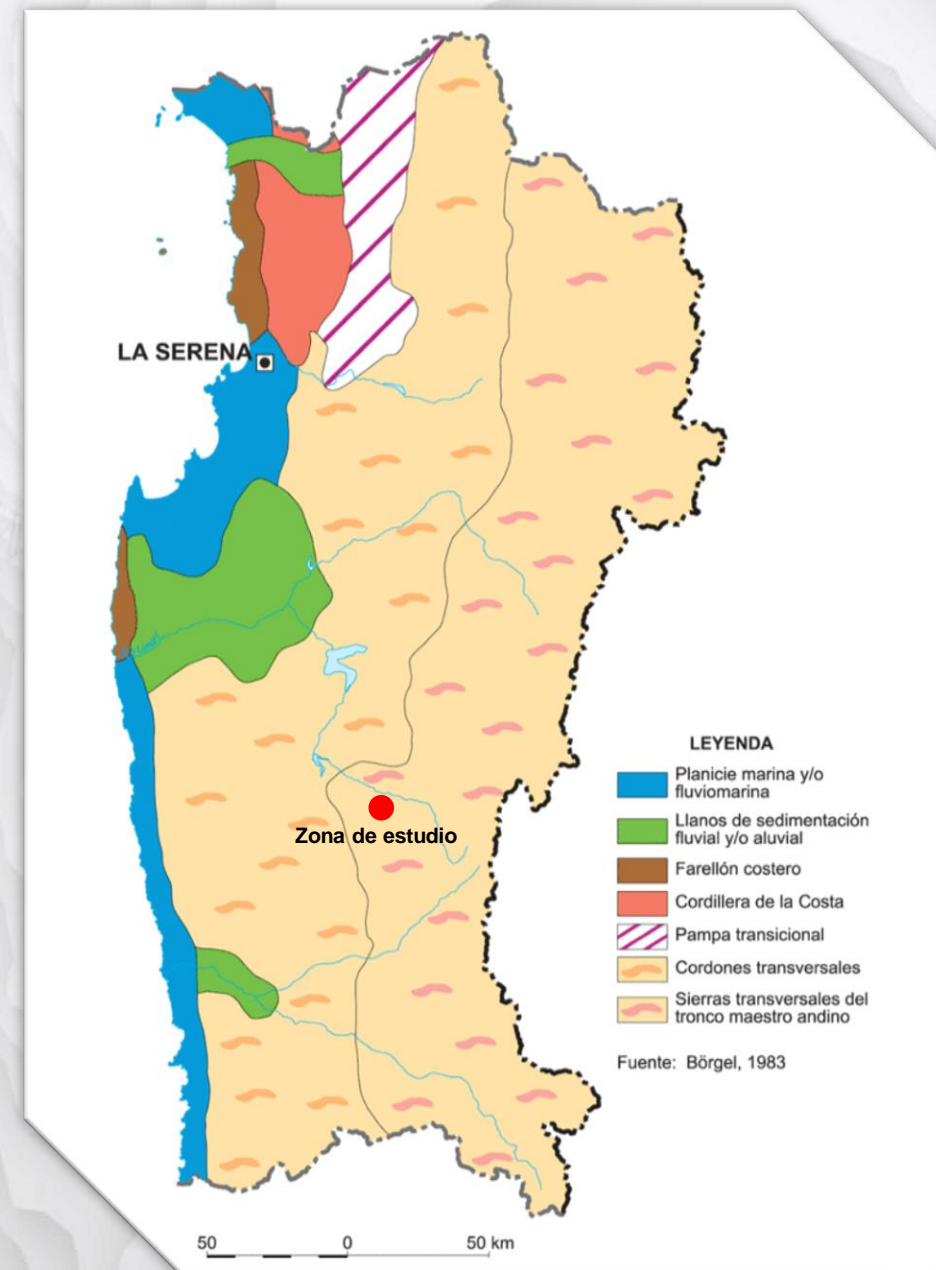
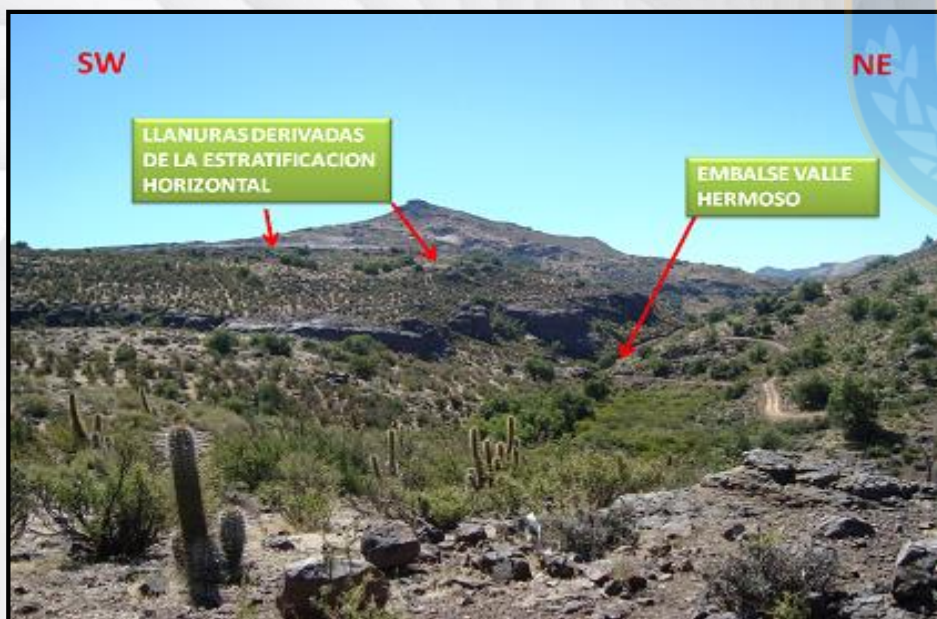
- Terreno
- ✓ Reconocimiento general del área de inundación y el sitio de presa, además de la comprobación *in situ* de los caminos de acceso por donde ingresaron las máquinas de perforación.
- ✓ Mapeo del área de influencia del proyecto a escala 1:10.000 (Mapa de Geología del Área de Influencia del Proyecto), y un mapeo de detalle en el sitio de presa y área de inundación en escala 1:2.000 (Mapa de Geología del Sitio de Presa y Área de Inundación).
- ✓ Supervisión de la campaña de sondajes. Asistiendo de forma regular a los sitios de perforación durante el periodo del 14 de abril de 2009 al 15 de Julio del mismo año, para continuar visitando las obras hasta el día de hoy.

Metodología

- Gabinete II
- ✓ Procesamiento y análisis de datos y fotografías.
- ✓ Digitalización las descripciones de los sondajes en Microsoft Excel 2010.
- ✓ Los sondajes fueron dibujados posteriormente en el programa AutoCAD 2013.
- ✓ Edición de las fotografías de los testigos recuperados con el software Adobe Illustrator CS6.
- ✓ Generación de perfiles geológicos en el sector del muro de presa en conjunto con la información entregada por los perfiles de refracción sísmica utilizando en conjunto ArcMap 10.1 y Adobe Illustrator CS6.
- ✓ Finalmente, se desarrolló un informe técnico en Microsoft Word 2010, entregado a MN Ingenieros con la finalidad de aportar en la ingeniería de diseño del proyecto.

Geomorfología

“A nivel local, la modelación de los terrenos comprometidos en las obras del proyecto del embalse Valle Hermoso, ha sido controlada en su mayoría, por los procesos erosivos de carácter fluvial, expresado en el patrón de drenaje de la cuenca del río Pama”.



Marco Teórico

- Métodos de clasificación del macizo rocoso

1) *Rock Quality Designation* o RQD

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de trozos} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud del testigo}} * 100$$

A partir de sondajes: se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos del testigo cuyo eje sea mayor que 10 cm en el intervalo de testigo de 1,5 m a partir de los testigos obtenidos en la exploración. Se recomienda utilizar un diámetro de perforación de al menos 54,7 mm.

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD (González de Vallejo y otros, 2002).

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Marco Teórico

2) *Rock Mass Rating* o RMR

- Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989).
- Este método permite hacer una clasificación de las rocas *in situ*, asignándole a las mismas grados de calidad que van desde muy mala a muy buena, según las características geomecánicas que presenten.

Parámetros geotécnicos para la clasificación de rocas, según método **RMR** de Bieniawski (1989), donde **R.C.S.E.**: Resistencia a la compresión simple estimada; **RQD**: *Rock Quality Designation*; **S**: Espaciamiento de estructuras y **Jc**: Condición de estructuras.

Parámetros	Rango	Puntaje RMR	Comentarios
R.C.S.E. (MPa)	<1	0	
	1 a 5	1	Resistencia muy baja
	5 a 25	2	
	25 a 50	4	Resistencia baja
	50 a 100	7	Resistencia moderada
	100 a 250	12	Resistencia alta
	>250	15	Resistencia muy alta
RQD (%)	<25	3	Muy mala calidad geotécnica
	25 a 50	8	Mala calidad geotécnica
	50 a 75	13	Regular calidad geotécnica
	75 a 90	17	Buena calidad geotécnica
	90 a 100	20	Excelente calidad geotécnica
S (mm)	<60	5	Muy junto o extremadamente junto
	60 a 200	8	Junto
	200 a 600	10	Moderado
	600 a 2000	15	Separado
	>2000	20	Muy Separado

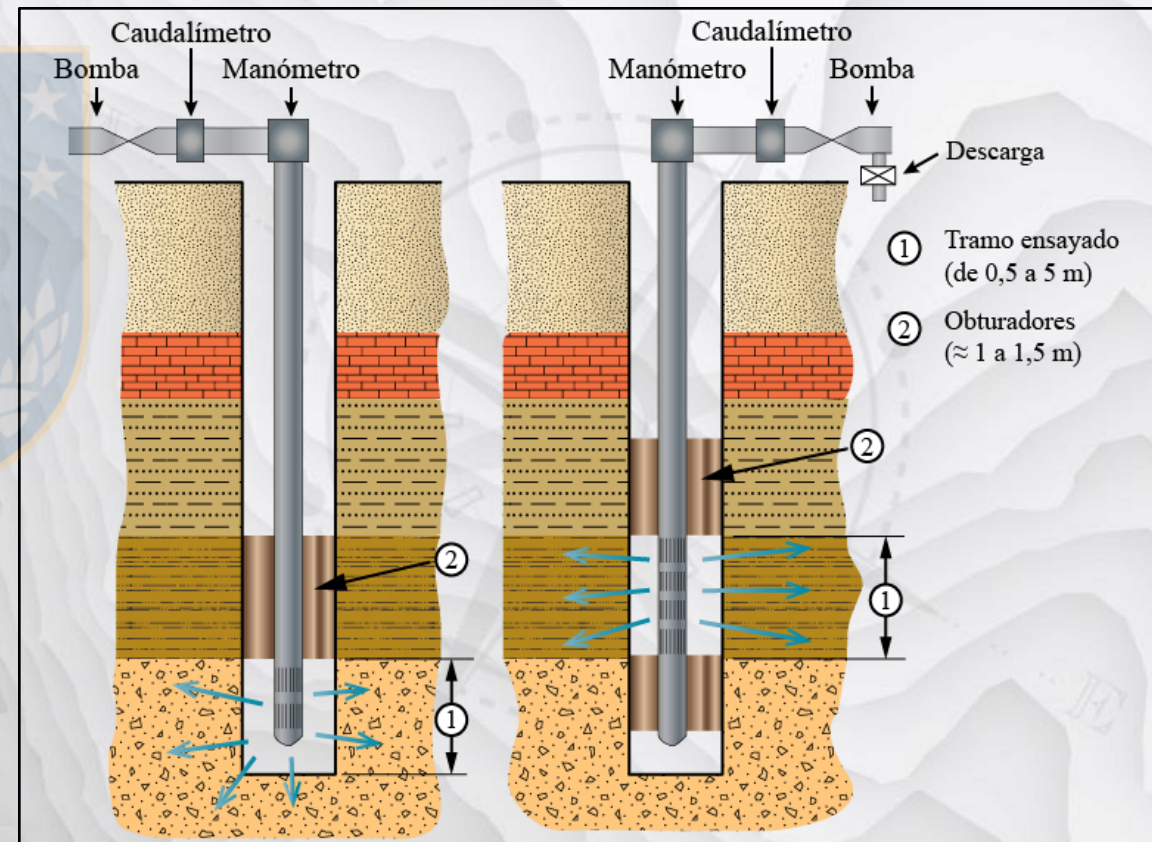
Parámetros	Rango	Puntaje RMR	Comentarios
Jc (mm)	>5	0	Continuas, abiertas o con rellenos blandos de salbanda arcillosa
	1 a 5	10	Continuas, pulidas o abiertas) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa
	<1	20	Algo rugosas, roca de caja muy intemperizada o alterada, estructuras abiertas o con rellenos.
	<1	25	Algo rugosas, roca de caja algo intemperizada o alterada, estructuras abiertas o con rellenos
	0	30	Muy rugosas, discontinuas, roca de caja fresca, estructuras cerradas o selladas
	Condición de Aguas, Wc		0
		4	Goteos
		7	Condición mojada
		10	Condición húmeda
		15	Completamente seca
RMR	Clase	Puntaje Total (Σ)	Observación
	V	< 20	Muy mala calidad geotécnica
	IV	20 a 40	Mala calidad geotécnica
	III	41 a 60	Regular calidad geotécnica
	II	61 a 80	Buena calidad geotécnica
	I	81 a 100	Muy buena calidad geotécnica

Ensayos de Permeabilidad

- En macizos rocosos → Ensayo Lugeon

El ensayo consiste en introducir agua a presión constante (10 kp/cm^2) en el pozo, midiendo las admisiones durante un período de 10 minutos. Normalmente, se ensayan tramos de 5 m de sondaje, aislando el tramo de ensayo del resto del sondaje mediante dos obturadores o packer.

Una **unidad lugeon (UL)** equivale a un coeficiente de permeabilidad de 10^{-5} cm/s (Unidad Lugeon = $1 \text{ l/m} \cdot \text{min} = 10^{-5} \text{ cm/s}$).

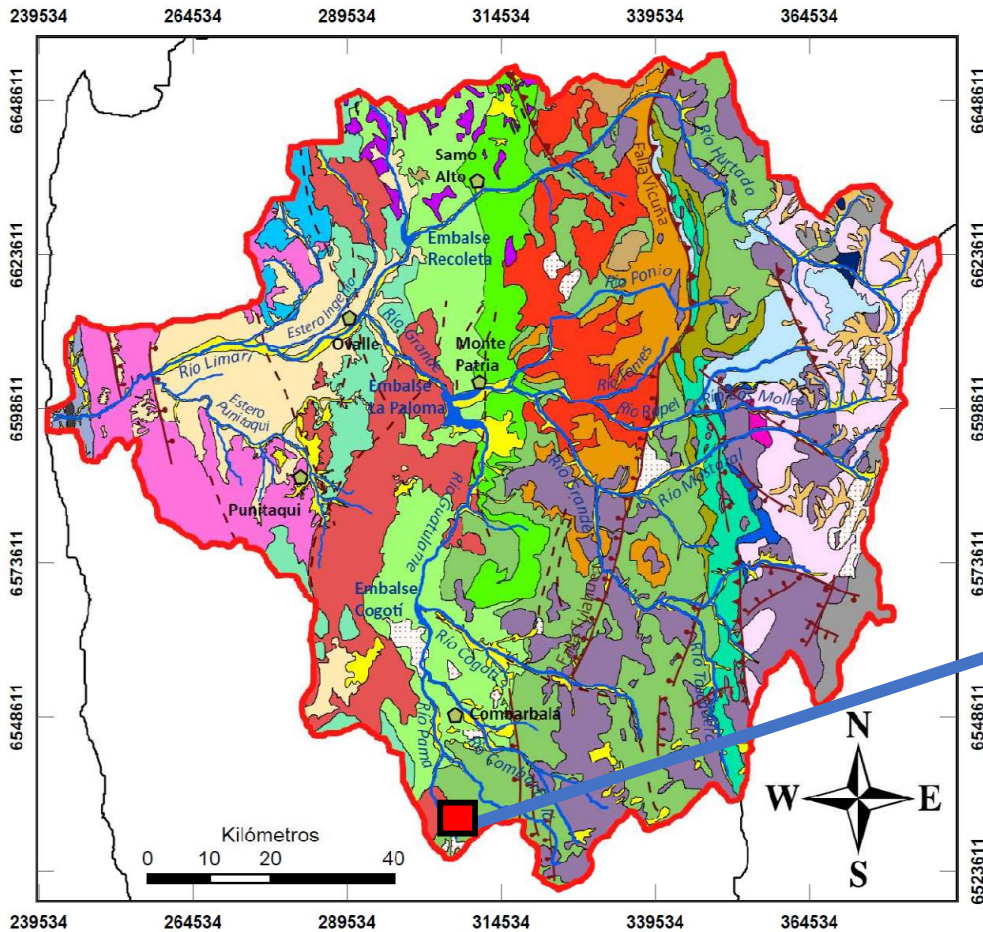


Ensayo Lugeon. A) Ensayo en el fondo del pozo de sondaje con obturador simple. B) Ensayo en un tramo del pozo de sondaje con obturador doble. Tomado de (Riquelme,2015).

Ensayos de Permeabilidad

Condiciones de discontinuidades del macizo rocoso asociado a diferentes valores Lugeon (Quiñones, 2010).				
Clasificación	Rango de Lugeon (U.L.)	Rango de conductividad hidráulica (cm/seg)	Condición de discontinuidades del macizo rocoso	Precisión de reporte (Lugeon)
Muy baja	< 1	0 – 1	Muy apretadas	< 1
Baja	1 – 5	1 – 3	Apretadas	± 0
Moderada	5 – 15	> 3	Pocas parcialmente abiertas	± 1
Mediana	15 – 50	1,5 – 6	Algunas abiertas	± 5
Alta	50 – 100	> 3	Muchas abiertas	± 10
Muy alta	> 100	> 6	Aperturas muy juntas o vacíos	> 100

Marco Geológico

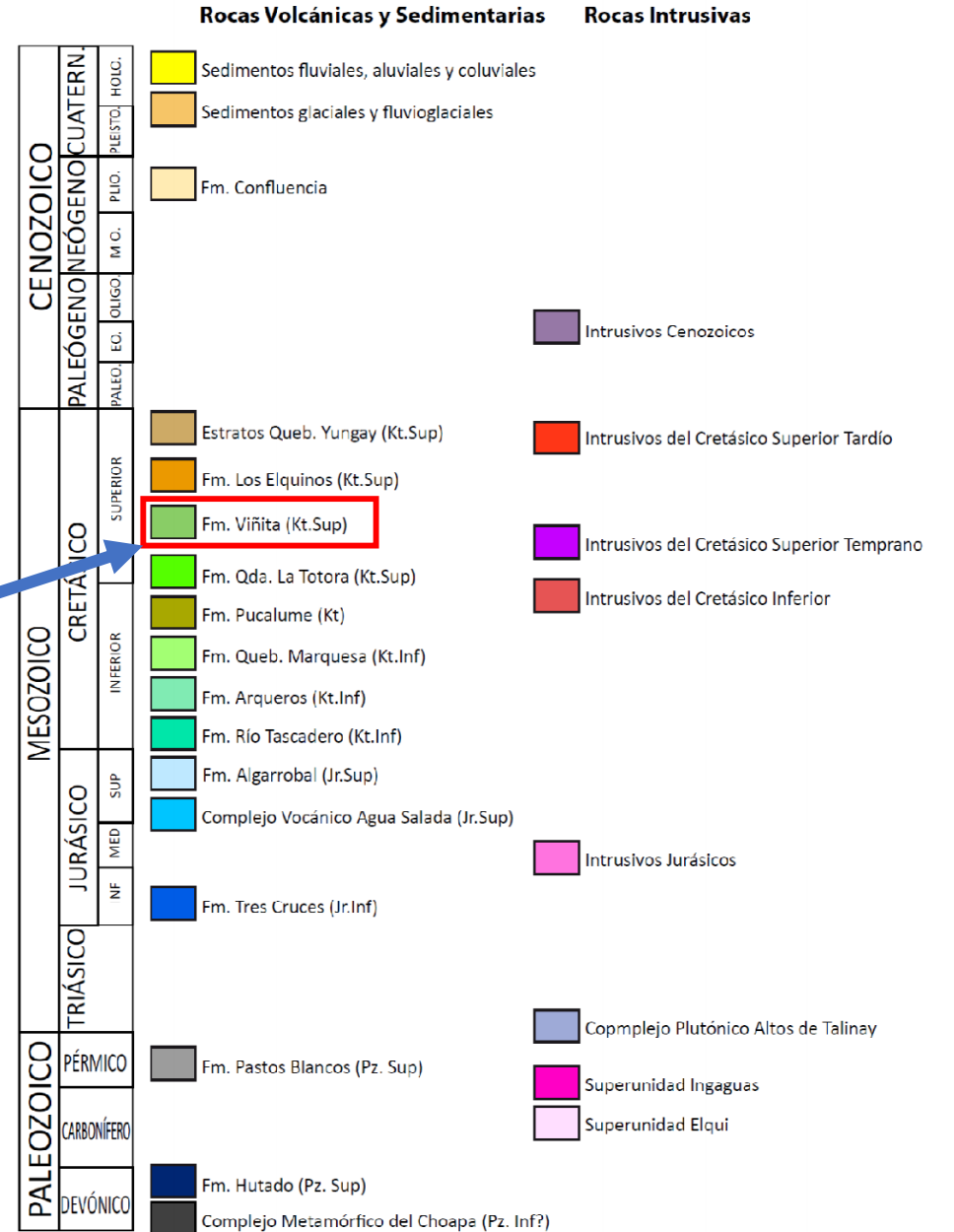


- Unidades Intrusivas
- Unidades Estratificadas
- Depósitos Cuaternarios

- Simbología**
- Capital comunal
 - Límite cuenca Río Limarí
 - Ríos y esteros principales
 - Falla inversa
 - Falla normal
 - Falla cubierta o inferida
 - Alteración hidrotermal

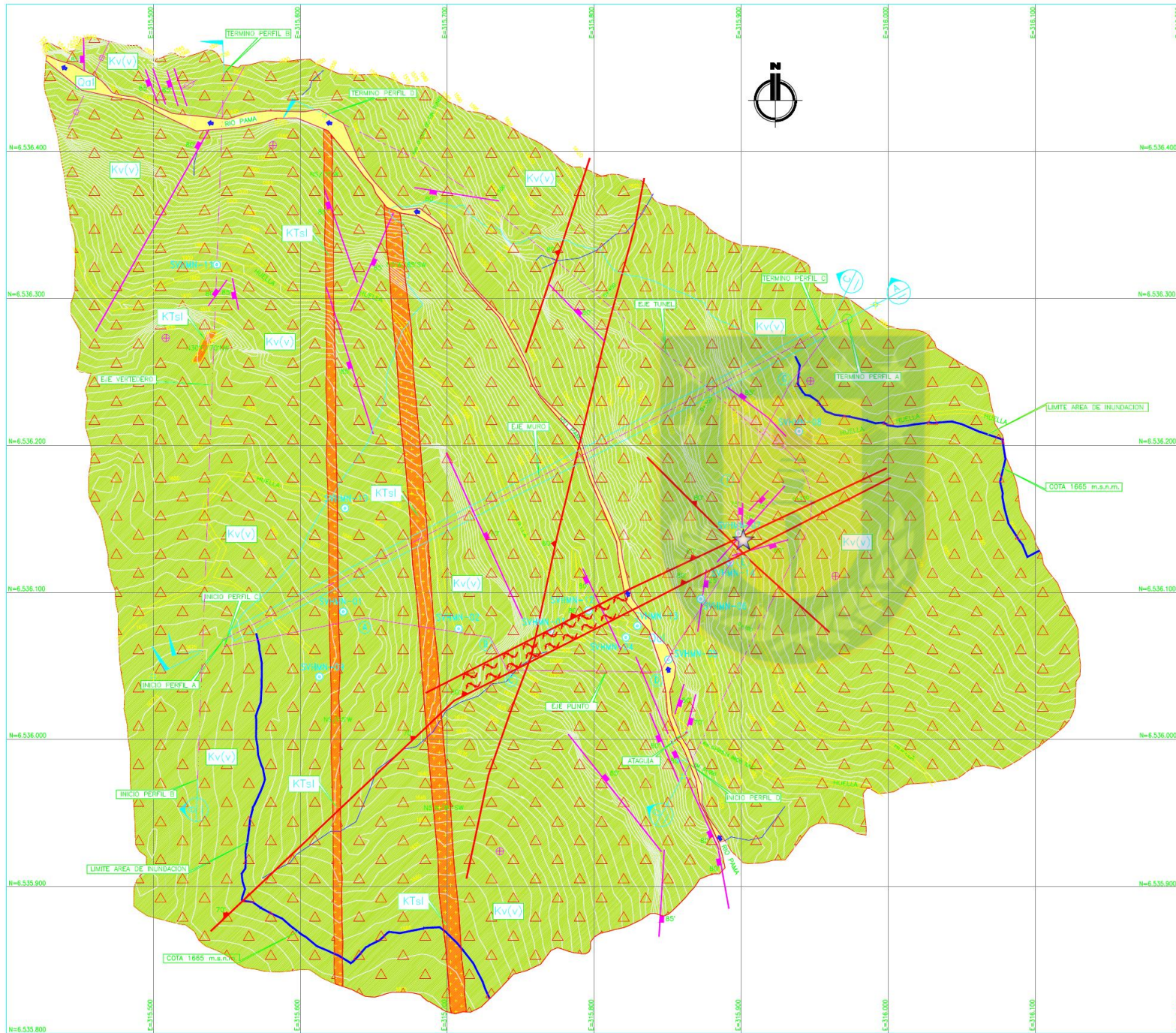
Proyecto Embalse Valle Hermoso

Modificado de Astudillo (2011)






GEOLÓGICA AREA PRESA VALLE HERMOSO

ESCALA 1:1000



LEYENDA GEOLÓGICA

- Qal**  Depósitos aluviales recientes: Corresponde a clastos y bloques subangulosos a subredondeados, en una matriz de arena y limo. Presenta una baja compacidad y alta permeabilidad.
- Kv(v)**  Sedimentos Volcánicos: Compuestos por brechas, Aglomerados, lavas y tobas de composición andesíticas con escasos niveles de areniscas y limolitas. Correlacionados con el Miembro Santa Virginia de la formación Viñita del Cretácico Superior. Dicha unidad presenta una cubierta de suelo correspondiente a 1 metro en promedio.
- KTsl**  Diques andesíticos de textura afanítica variando a porfídica. Correlacionados a la Unidad San Lorenzo de la Súper Unidad Cogotí. De edad Cretácico Superior al Terciario Inferior.

SIMBOLOGÍA

-  Contacto litológico
-  En línea punteada Contacto Inferido.
-  80° Falla observada: indica inclinación.
-  Estratificación horizontal, a semihorizontal.
-  Fractura Horizontal.
-  Fractura Vertical.
-  83° Fractura indicando inclinación.
-  Límite área inundación
-  Zona con roca muy fracturada y alterada. Se asocia a zonas de falla.
-  SVHMN-03 Sondaje de diamantina.
-  Dirección de escurrimiento aguas.
-  Huella
-  Ventana Geotécnica
-  Perfil Geológico
-  B Punto de quiebre en perfil de plinto.
-  Eje Tunel de desviacion.
-  Eje Vertedero.

Geología Local

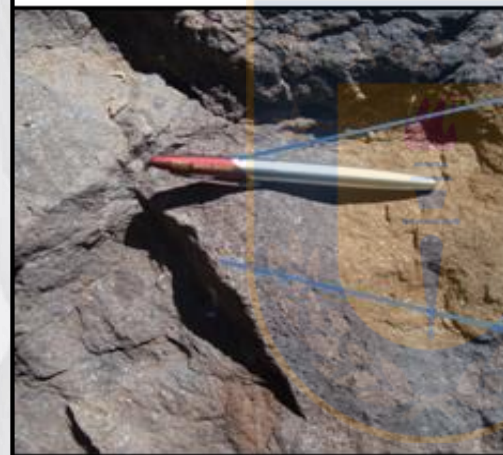
- Unidades Litológicas
- Estratificadas:
- **Kv(v):** Rocas Volcano-sedimentarias correlacionadas con el Miembro Santa Virginia de la Formación Viñita del Cretácico Superior (op.cit) compuestas por brechas, aglomerados y tobas respectivamente, dichas rocas presentan una masa fundamental de composición andesítica generalmente afanítica.

Las alteraciones presentes en estas rocas corresponden a alteración a clorita (leve a moderada), alteración a Epidota (leve) y guías de calcita en las dos laderas, los sondajes realizados muestran que la alteración generalmente está subordinada a estructuras tipo fallas o diques. Los minerales máficos que componen la masa fundamental de estas rocas se presentan leve a moderadamente oxidados, en las dos riberas.

- Las rocas de esta unidad se presenta generalmente frescas, masivas, con pocas fracturas y diaclasas. Las estructuras generalmente se presentan algo rugosas. Los valores de resistencia a la compresión simple estimada de la roca meteorizada son alrededor de **80 MPa** y de una roca fresca **120 MPa** o más.



AGLOMERADO
ANDESÍTICO



ANDESITAS



BRECHAS
VOLCÁNICAS



Geología Local

- **Qal:** Corresponde a una pequeña cubierta aluvial que cubre el fondo del valle a lo largo de la caja del río y cuya potencia en promedio alcanza los 7 m según lo indica el sondaje SVHMN-05 (realizado en el lecho del Río Pama a la altura del plinto).
- Sedimentos aluviales recientes polimícticos compuestos por gravas y bloques redondeados, duros y frescos en una matriz arenosa con limo.



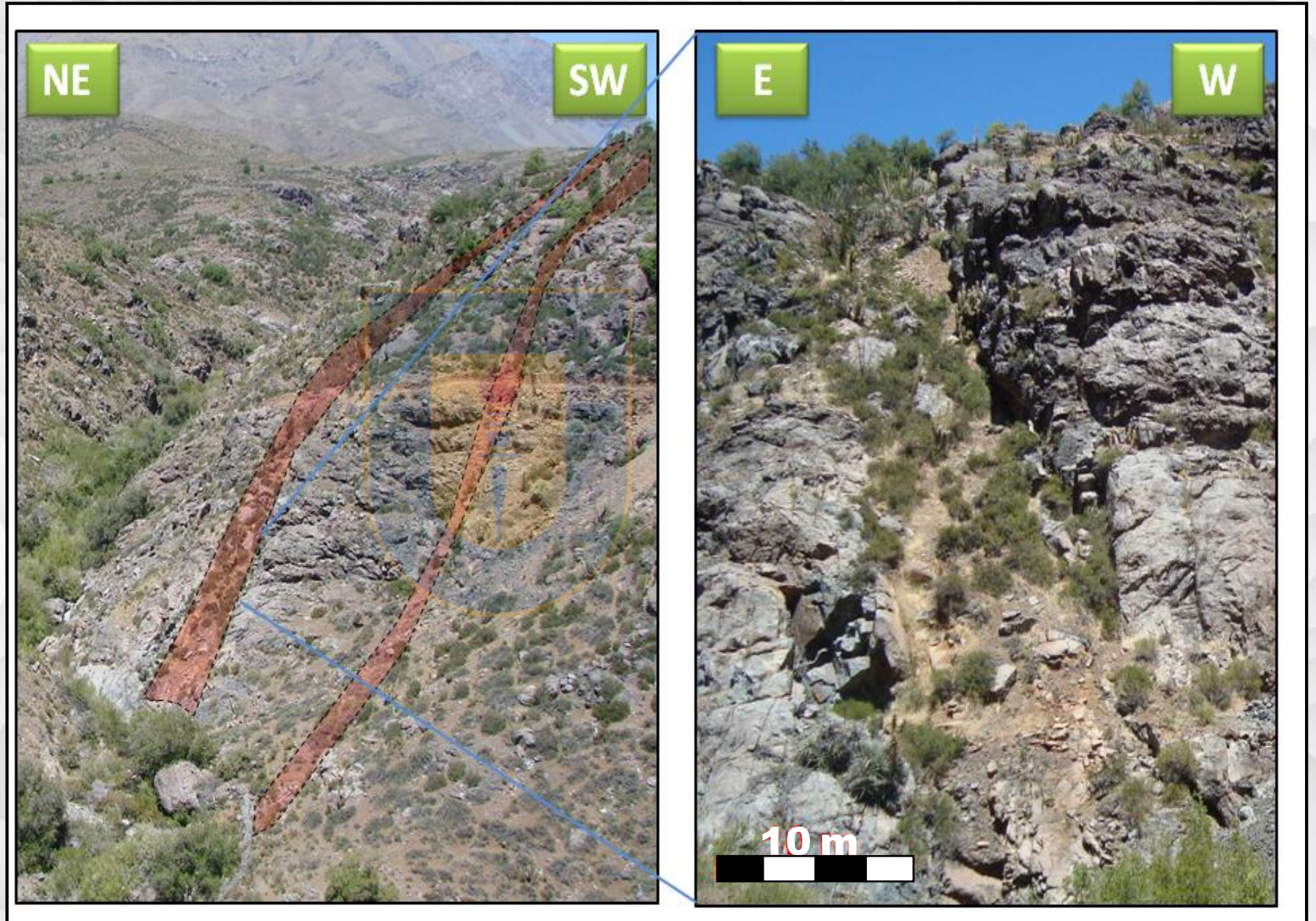
Geología Local

- Intrusivas:
- **KTsl:** Rocas Intrusivas correlacionadas con la Unidad San Lorenzo de La Súper Unidad Cogotí del Cretácico Superior al Terciario Inferior. Dichas rocas son principalmente cuerpos hipabisales caracterizados en el área de estudio por 3 diques en la ladera izquierda de composición andesítica y de textura variando de afanítica a porfídica.
- Sus potencias varían de 5 a 12 m y 2,5 km de traza reconocida en superficie, con actitudes de N10°W/60-75°SW.



Dique de composición andesítica parcialmente erosionado perteneciente a la Unidad intrusiva KTsl afectando a aglomerados aguas abajo de la ladera izquierda del sitio de presa.

- Diques presentes en la ladera izquierda parcialmente erosionados.



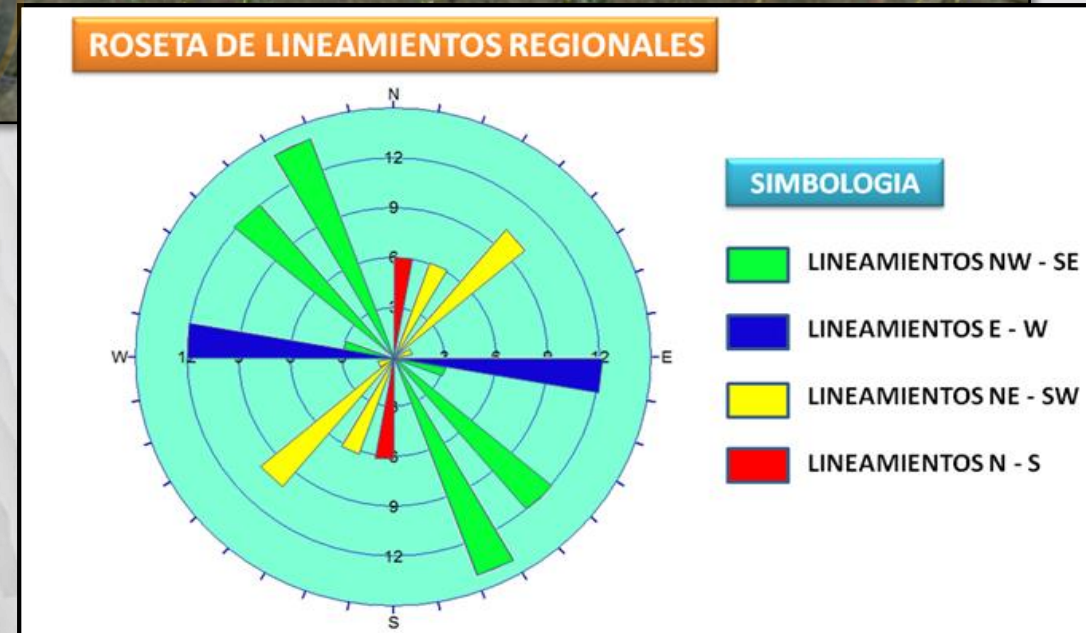
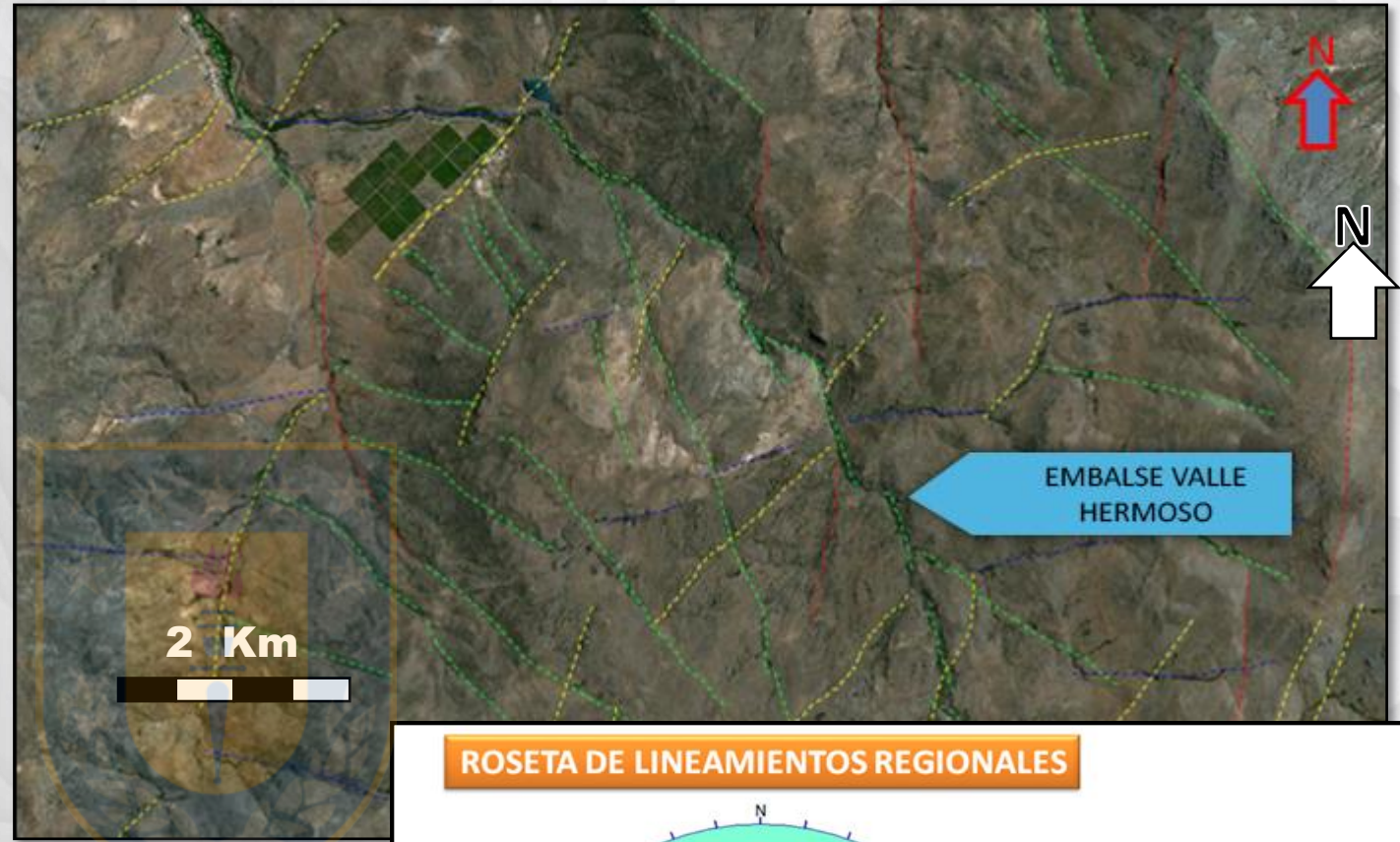
Estructuras

- Lineamientos NW-SE observados



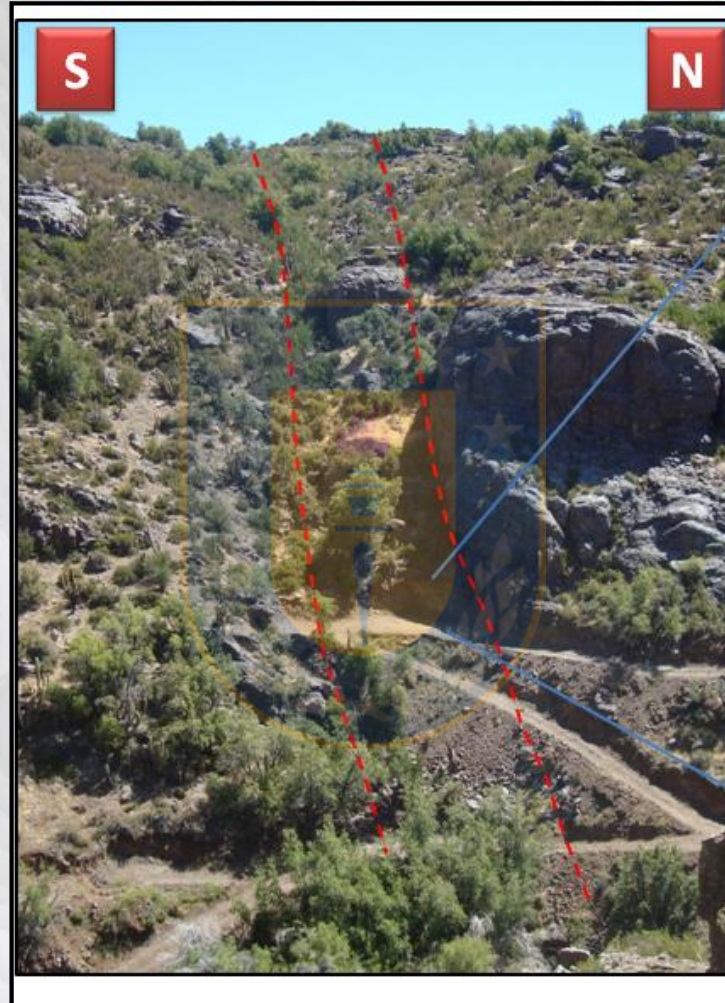
A lo largo de los valles más importantes de la zona: Cogotí, Combarbalá y Pama.

- Correlación con lineamientos regionales presentes en la zona del embalse NW-SE, E-W y en menor medida NE - SW y N-S.



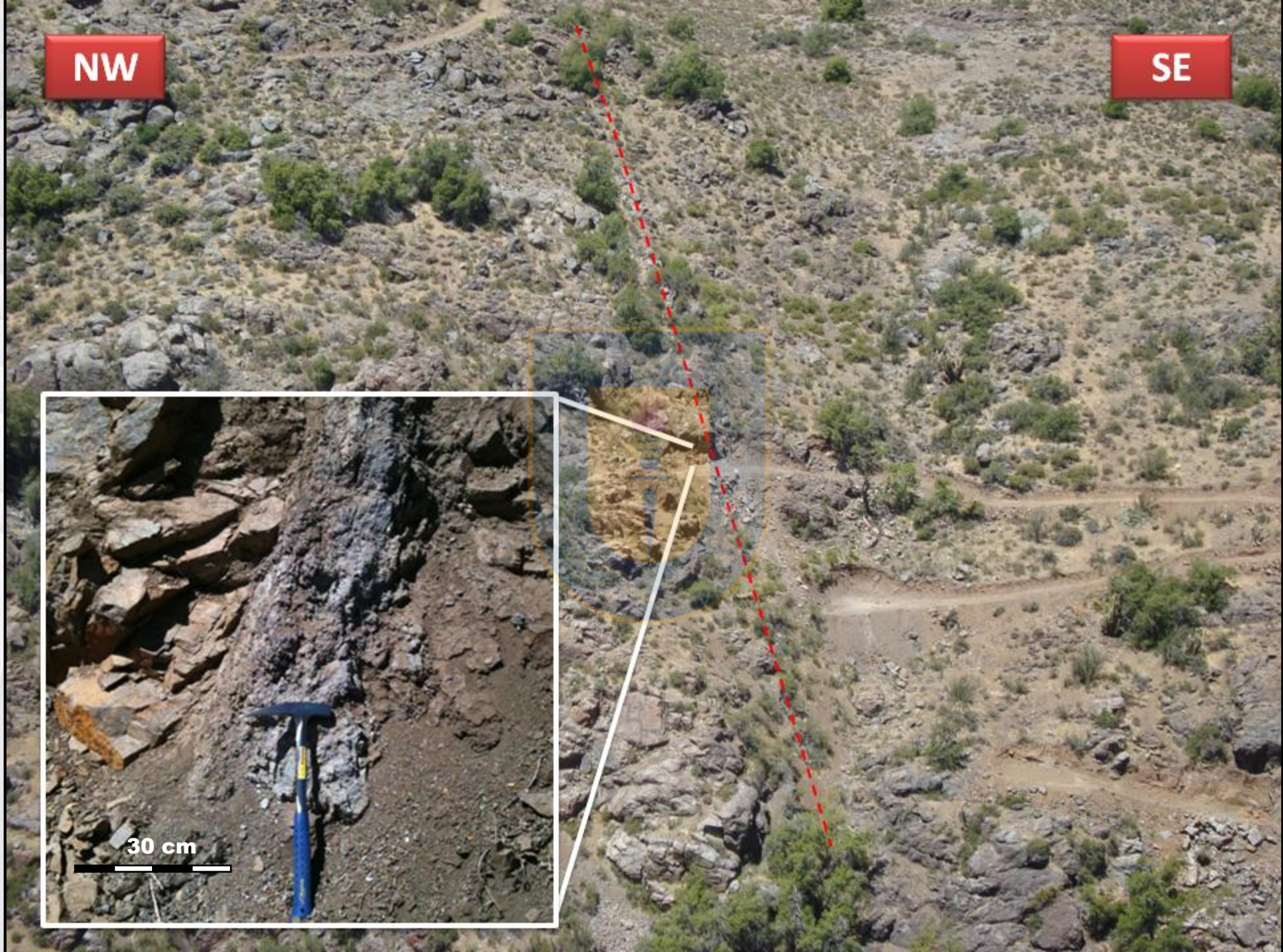
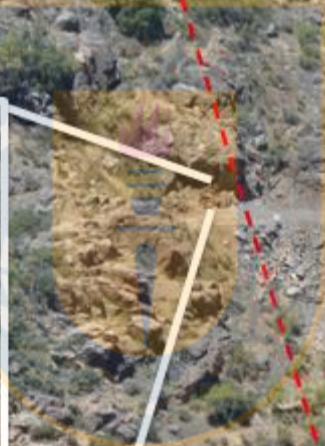
Estructuras

- La roca es masiva y presenta muy pocas diaclasas.
- Existe la presencia de una falla **N63-70°E/70-80°NW** la cual afecta en diferentes grados a las dos riberas y se ubica 95 m aguas arriba del eje del muro. Dicha estructura en la ladera izquierda se presenta como una **zona de falla** y está compuesta por roca triturada acompañada de una baja fracción de arcilla <10%, por efecto de la erosión de esta zona de debilidad se reconoce un accidente topográfico que deriva en una morfología de grieta con un espesor de 16 – 22 m .



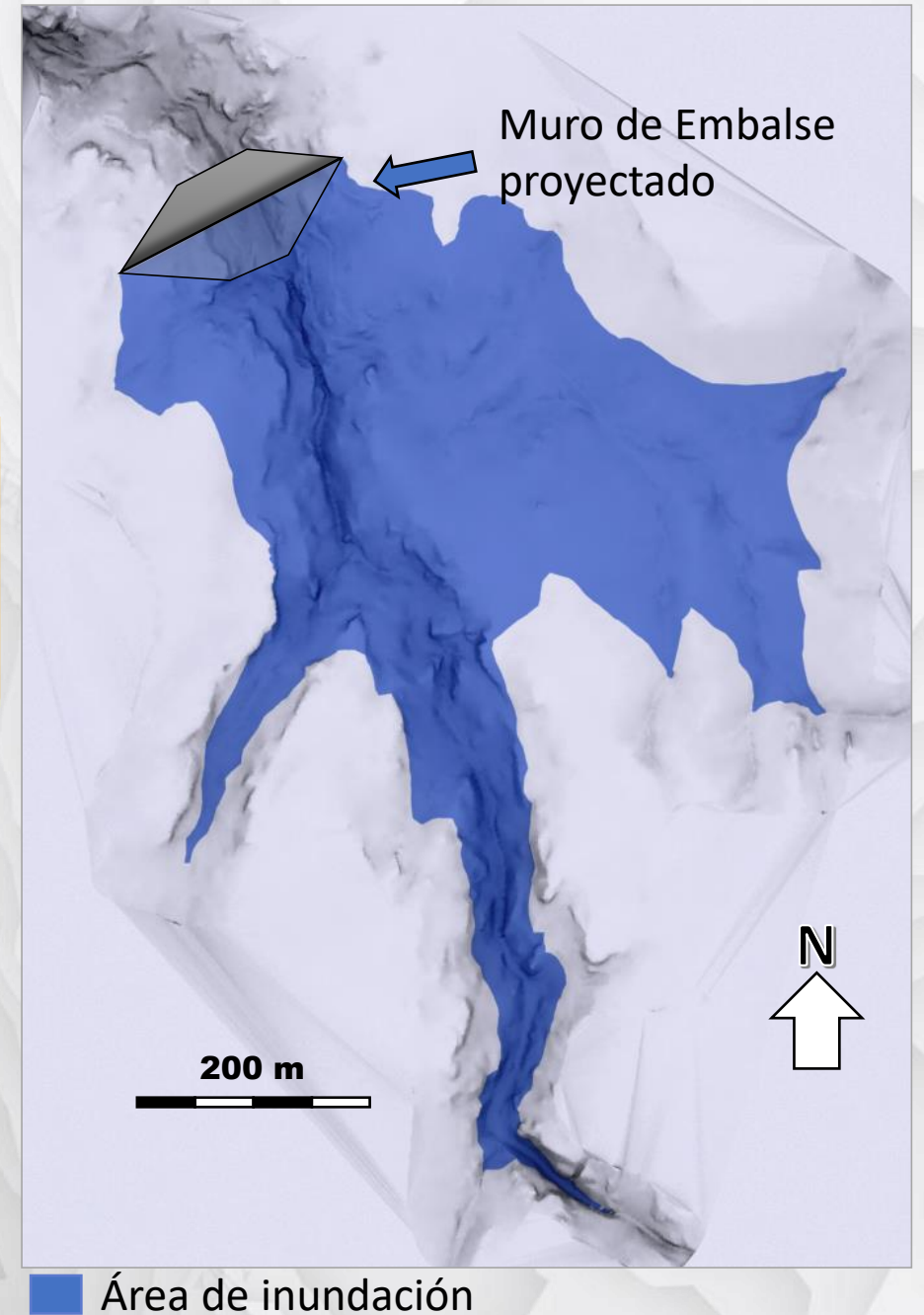
NW

SE



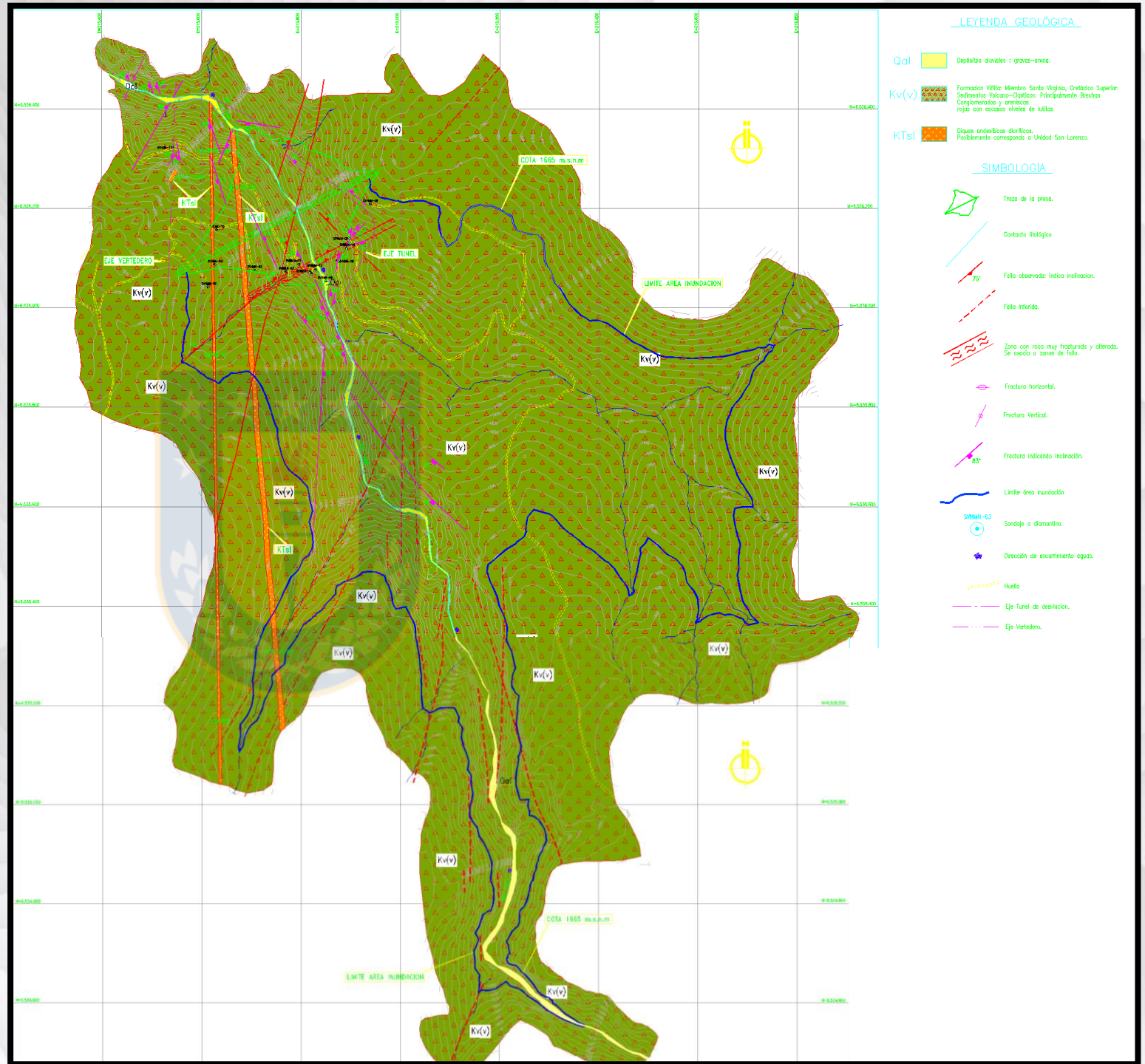
Geología del área de Inundación

- Toda la zona de inundación está caracterizada por un valle angosto, rectilíneo, de paredes abruptas, con pequeños sectores de mayor ancho y menor pendiente, labrados en la roca sedimentario-volcánica del Miembro Río Manque de la Formación Viñita, de edad Cretácico Superior.



Geología del área de Inundación

- Prácticamente toda el área de inundación se encuentra fundada **en roca sedimentario-volcánica fresca**, que se dispone en una actitud subhorizontal y sólo presenta una cubierta pequeña de meteorización o suelo, que en promedio ronda el metro de potencia y, en el fondo del valle, una cubierta aluvial de 7 m de espesor promedio (según sondaje SVHMN-05), compuesta por sedimentos fluviales de gravas y arenas subredondeadas a subangulosas.
- Resulta especialmente importante el sistema de **fallas subverticales orientadas NNE y ENE**, que han permitido el desarrollo de un par de persistentes sistemas de fracturamiento que, sumados al sistema de fracturas horizontales, han dado origen a la morfología abrupta que caracteriza a este sector del valle del río Pama.



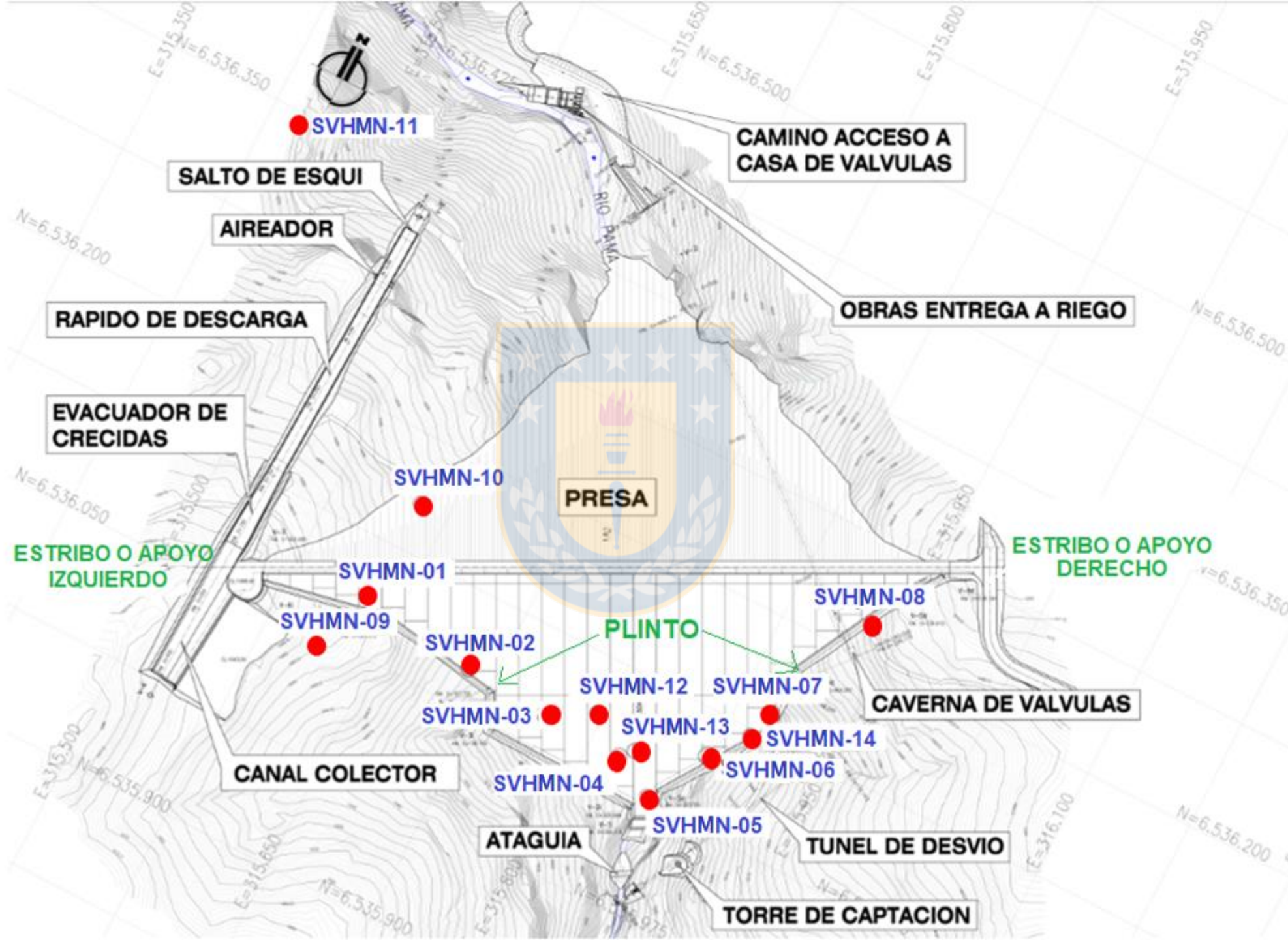
Geología del área de Inundación

De acuerdo con los antecedentes expuestos, se considera que el área de inundación del Embalse Valle Hermoso, se desarrollará en un sustrato rocoso estable, impermeable, donde no se observan eventuales riesgos y, por el contrario, sus expectativas son altamente favorables.

Prospecciones Geotécnicas y Ensayos

- En el área se proyectaron 14 sondajes geotécnicos en diámetro HQ3 (testigos de 61,1 mm de diámetro) con recuperación de testigos, todos orientados a reconocer la calidad y características de la roca de fundación del muro de la presa del Embalse Valle Hermoso, estos se llamaron “Sondaje Valle Hermoso del 01 al 14” (SVHNMN-01 al SVHNMN-14).

SONDAJE	COORD. E	COORD. N	COTA (m)	PROF. (m)	LEFRANC	LUGEON	SPT
SVHNMN-01	315.626,199	6.536.087,094	1655,89	40	0	7	0
SVHNMN-02	315.707,647	6.536.075,448	1627,34	40	0	7	0
SVHNMN-03	315.769,929	6.536.073,453	1580,93	40	0	7	0
SVHNMN-04	315.821,434	6.536.069,505	1565,96	65	0	12	0
SVHNMN-05	315.850,304	6.536.054,336	1561,29	60	0	10	0
SVHNMN-06	315.872,324	6.536.095,573	1589,23	60	0	11	0
SVHNMN-07	315.898,317	6.536.140,165	1611,12	40	0	7	0
SVHNMN-08	315.939,259	6.536.209,618	1656,23	40	0	7	0
SVHNMN-09	315.612,950	6.536.042,823	1657,52	30	0	5	0
SVHNMN-10	315.630,413	6.536.157,352	1638,29	30	0	5	0
SVHNMN-11	315.543,198	6.536.322,949	1615,56	20	0	3	0
SVHNMN-12	315.796,130	6.536.087,819	1565,95	30	0	5	0
SVHNMN-13	315.829,290	6.536.077,427	1560,36	30	0	5	0
SVHNMN-14	315.892,249	6.536.120,484	1599,22	55	0	10	0
Metros perforados en total:				580			



Prospecciones Geotécnicas y Ensayos

- Durante la perforación de los sondajes se determinaron los índices *Rock Mass Rating (RMR)* y *Rock Quality Designation (RQD)*, y se ejecutaron de igual modo ensayos de permeabilidad Lugeon, con el fin de determinar las características geomecánicas y las permeabilidades del macizo rocoso.



Ensayos de permeabilidad de Lefranc y los de Penetración Estándar (SPT) no se realizaron, ya que la capa de suelo obtenida en cada sondaje era poco potente.

PROSPECCIONES POR SONDAJE

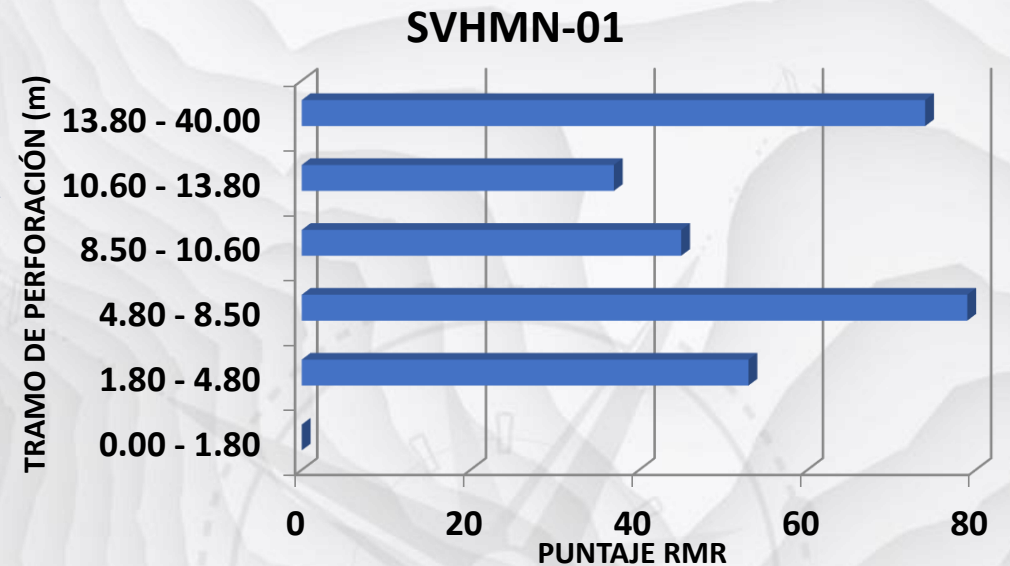
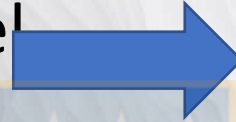
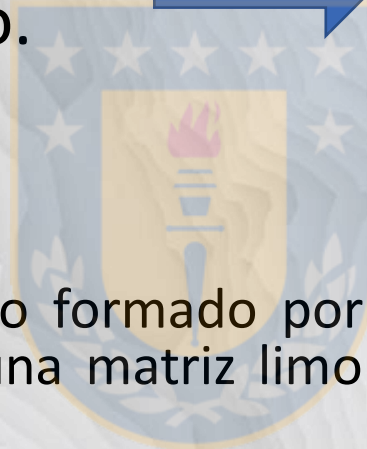
• Sondaje SVHMN-01

➤ Investigar calidad de la roca en el sector del plinto y vertedero.

➤ Litología:

Entre 0 m y 1,80 m se obtuvo suelo formado por bloques de rocas meteorizadas en una matriz limo arenosa.

Finalmente, desde 1,80m hasta los 40m de profundidad se constituye por una brecha aglomerádica de composición andesítica con matriz afanítica con vetillas de calcita.



* Permeabilidades entre 2 y 4,5 unidades Lugeon hasta los 25m y permeabilidades cercanas a 0 bajo dicha profundidad.

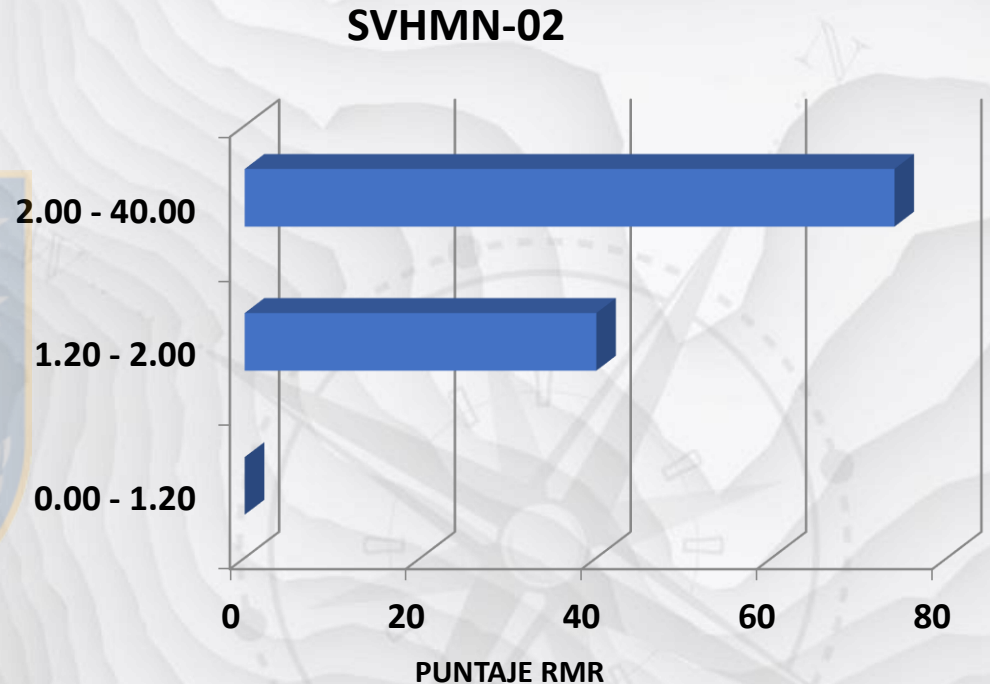
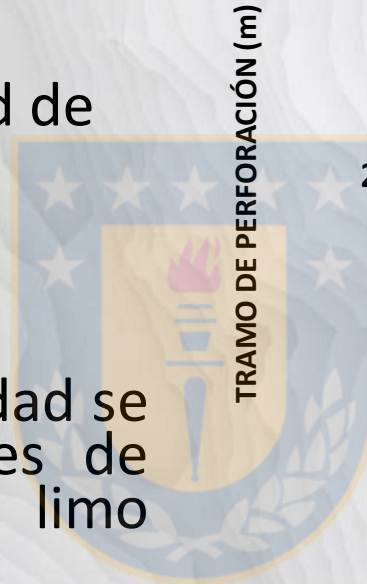
PROSPECCIONES POR SONDAJE

- **Sondaje SVHMN-02**

- Su objetivo fue investigar la calidad de la roca del plinto izquierdo.
- RQD excelente de casi 100%.
- Litología:

Entre los 0 y los 1,20 m de profundidad se obtuvo suelo formado por bloques de rocas meteorizadas en una matriz limo arenosa.

Mientras que desde los 1,20 m hasta los 40 m de profundidad se describe una brecha gris de composición andesítica y matriz afanítica con generación de vetillas de cuarzo, magnetita y calcita.



- * Muestra bajas permeabilidades a lo largo de todo el sondeo, bajo 1 unidad lugeon.

PROSPECCIONES POR SONDAJE

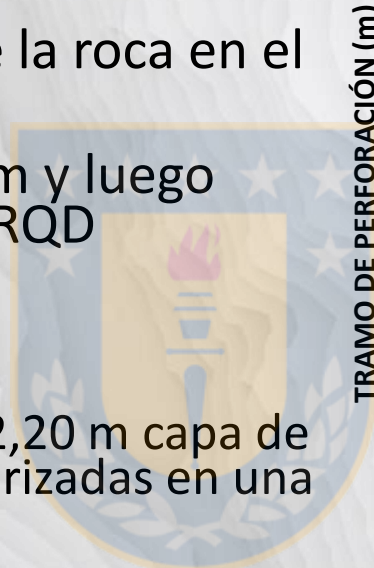
• Sondaje SVHMN-08

- Su objetivo es investigar la calidad de la roca en el plinto derecho
- El fracturamiento es alto hasta los 5 m y luego mejora de manera muy óptima a un RQD promedio cercano al 90%.

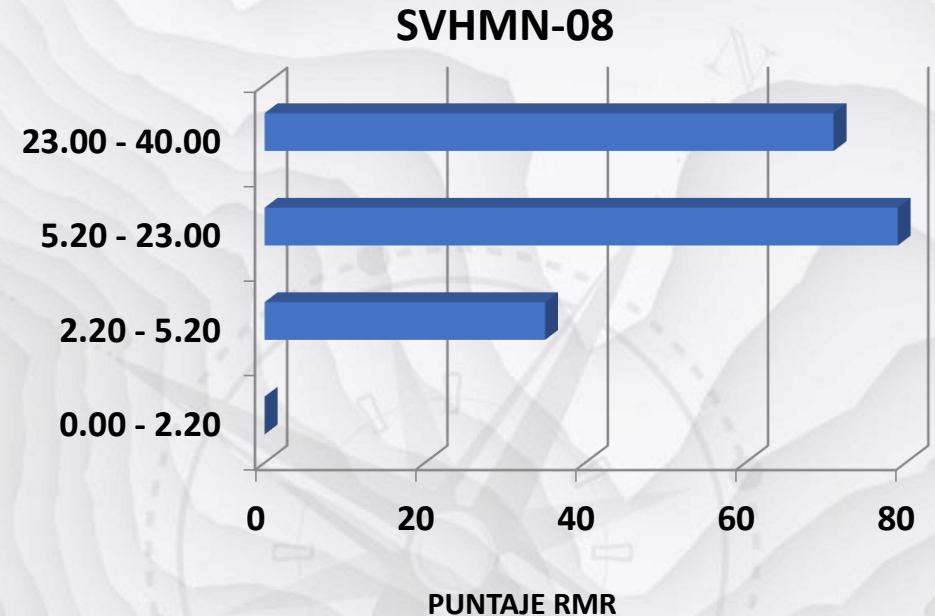
➤ Litología:

Desde el inicio de la perforación hasta los 2,20 m capa de suelo formada por bloques de rocas meteorizadas en una matriz limo arenosa.

Finalmente, desde la profundidad de 2,20 m hasta los 40 m se constituye de una brecha gris pardusca de masa fundamental andesítica, presenta nódulos y vetillas de calcita y disminuye la presencia de clastos en algunos tramos de la brecha.



TRAMO DE PERFORACIÓN (m)



- * Se tiene un tramo altamente permeable entre los 10 y 15m de profundidad en tanto que el resto es de baja permeabilidad llegando a 0 entre los 30 y 40m.

Resultados del RMR en los sondajes del proyecto de Embalse Valle Hermoso.

SONDAJE	SEDIMENTO /ROCA	PROFUNDIDAD SONDAJE (m)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ESTIMADA, RCSE(MPa)	PUNTAJE (RCSE)	RQD	PUNTAJE (RQD)	ESPACIAMIENTO ESTRUCTURAS, S (mm)	PUNTAJE (S)	JC	PUNTAJE (JC)	CONDICION DE AGUAS, WC	PUNTAJE (WC)	RMR
SVHNM-01	SEDIMENTO	0.00 - 1.80	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	1.80 - 4.80	50 - 100	7	0 - 25	3	60 - 200	8	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	seco	15	53
	ROCA	4.80 - 8.50	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	79
	ROCA	8.50 - 10.60	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	seco	15	45
	ROCA	10.60 - 13.80	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	37
	ROCA	13.80 - 40.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
SVHNM-02	SEDIMENTO	0.00 - 1.20	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	1.20 - 2.00	100 - 250	12	0 - 25	3	60 - 200	8	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	40
	ROCA	2.00 - 40.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
SVHNM-03	SEDIMENTO	0.00 - 0.50	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	1.20 - 2.70	50 - 100	7	75 - 90	17	60 - 200	8	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	72
	ROCA	2.70 - 4.20	50 - 100	7	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	47
	ROCA	4.20 - 5.70	50 - 100	7	50 - 75	13	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	62
	ROCA	5.70 - 34.50	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	55
	ROCA	34.50 - 40.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
SVHNM-04	SEDIMENTO	0.00 - 2.70	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	2.70 - 13.80	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	mojada	7	39
	ROCA	13.80 - 65.00	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	44
SVHNM-05	SEDIMENTO	0.00 - 7.00	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	7.00 - 12.00	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	55
	ROCA	12.00 - 27.40	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	52
	ROCA	27.40 - 42.90	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	71
	ROCA	42.90 - 48.70	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	52
	ROCA	48.70 - 55.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
	ROCA	55.00 - 60.00	100 - 250	12	50 - 75	13	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	65
SVHNM-06	SEDIMENTO	0.00 - 0.80	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	0.80 - 16.10	50 - 100	7	90 - 100	20	200 - 600	10	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	seco	15	62
	ROCA	16.10 - 26.20	50 - 100	7	75 - 90	17	200 - 600	10	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	51
	ROCA	26.20 - 32.40	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	40
	ROCA	32.40 - 44.50	50 - 100	7	75 - 90	17	200 - 600	10	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	51
	ROCA	44.50 - 56.50	50 - 100	7	50 - 75	13	60 - 200	8	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	45
	ROCA	56.50 - 60.00	50 - 100	7	50 - 75	13	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	60

SONDAJE	SEDIMENTO /ROCA	PROFUNDIDAD SONDAJE (m)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ESTIMADA, RCSE(MPa)	PUNTAJE (RCSE)	RQD	PUNTAJE (RQD)	ESPACIAMIENTO ESTRUCTURAS, S (mm)	PUNTAJE (S)	JC	PUNTAJE (JC)	CONDICION DE AGUAS, WC	PUNTAJE (WC)	RMR
SVHNM-07	ROCA	0.00 - 9.10	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	seco	15	48
	ROCA	9.10 - 20.90	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	82
	ROCA	20.90 - 22.40	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	55
	ROCA	22.40 - 29.35	50 - 100	7	50 - 75	13	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	60
	ROCA	29.35 - 33.10	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	55
	ROCA	33.10 - 40.00	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	71
SVHNM-08	SEDIMENTO	0.00 - 2.20	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	2.20 - 5.20	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa > 5 mm	0	seco	15	35
	ROCA	5.20 - 23.00	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	79
	ROCA	23.00 - 40.00	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	71
SVHNM-09	SEDIMENTO	0.00 - 1.70	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	1.70 - 14.75	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	79
	ROCA	14.75 - 16.75	25 - 50	4	25 - 50	8	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa > 5 mm	0	mojada	7	24
	ROCA	16.75 - 30.00	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	71
SVHNM-10	SEDIMENTO	0.00 - 0.40	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	0.40 - 10.00	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	seco	15	47
	ROCA	10.00 - 15.30	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	mojada	7	39
	ROCA	15.30 - 30.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
SVHNM-11	ROCA	0.00 - 5.60	25 - 50	4	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	seco	15	52
	ROCA	5.60 - 12.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	82
	ROCA	12.00 - 20.00	100 - 250	12	90 - 100	20	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	74
SVHNM-12	ROCA	0.00 - 2.95	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa > 5 mm	0	seco	15	27
	ROCA	2.95 - 13.00	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa > 5 mm	0	mojada	7	19
	ROCA	13.00 - 23.30	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	52
	ROCA	23.30 - 30.00	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	44
SVHNM-13	SEDIMENTO	0.00 - 0.40	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	0.40 - 10.35	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	mojada	7	39
	ROCA	10.35 - 18.75	50 - 100	7	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	52
	ROCA	18.75 - 30.00	100 - 250	12	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	71
SVHNM-14	SEDIMENTO	0 - 3.80	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
	ROCA	3.80 - 6.10	25 - 50	4	75 - 90	17	200 - 600	10	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	seco	15	66
	ROCA	6.10 - 11.50	25 - 50	4	25 - 50	8	0 - 60	5	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	seco	15	52
	ROCA	11.50 - 18.00	100 - 250	12	75 - 90	17	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	seco	15	77
	ROCA	18.00 - 22.70	100 - 250	12	75 - 90	17	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	69
	ROCA	22.70 - 42.00	50 - 100	7	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	mojada	7	50
	ROCA	42.00 - 48.00	100 - 250	12	25 - 50	8	60 - 200	8	algo rugosa, algo alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	25	mojada	7	60
	ROCA	48.00 - 51.50	50 - 100	7	50 - 75	13	60 - 200	8	algo rugosa, muy alterada o interperizada, estructuras abierta o rellenos < 1 mm	20	mojada	7	55
	ROCA	51.50 - 55.00	25 - 50	4	0 - 25	3	0 - 60	5	Estructuras continuas, abiertas o con rellenos de salvanda arcillosa 1 - 5 mm	10	mojada	7	29

Ensayos Lugeon

SONDAJE	LUGEON	METROS (m)	PERMEABILIDAD FRANCA = ∞	PERMEABILIDAD ALTA > 2 u.l.	PERMEABILIDAD ADECUADA \leq 2 u.l.	N.A.S. (m)
SVHMN-01	7	40	5 - 15 m	15 - 20m	20 - 40m	10,6
SVHMN-02	7	40	-	-	5 - 40m	1,6
SVHMN-03	7	40	-	-	5 - 40m	2,6
SVHMN-04	12	65	5 - 25 m	-	25 - 65m	3,2
SVHMN-05	10	60	-	-	10 - 60m	1,25
SVHMN-06	11	60	5 - 15 m, 40 - 45 m	15 - 20m, 30 - 35m	20 - 30 m, 35 - 40m, 45- 60m	13
SVHMN-07	7	40	5 - 15 m	-	15 - 40 m	21,4
SVHMN-08	7	40	10 - 15 m	20 - 25m	5 - 10 m, 15 - 20m, 25 - 40m	23
SVHMN-09	5	30	-	5 - 10m	10 - 30m	30
SVHMN-10	5	30	5 - 15 m	-	15 - 30m	10
SVHMN-11	3	20	5 - 20 m	-	-	12
SVHMN-12	5	30	5 - 10 m	-	10 - 30m	2,95
SVHMN-13	5	30	5 - 10 m	-	10 - 30m	1,2
SVHMN-14	10	55	5 - 30 m	30 - 35m, 50 - 55m	35 - 50m	18
TOTAL	101	530				

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE SONDAJE

- No existen depósitos de suelos de espesores importantes en ninguno de los apoyos del muro, los espesores de suelo detectados no sobrepasan los 0,50m.
- Si se aprecia a simple vista la existencia de bloques sueltos, especialmente en el apoyo izquierdo, que deberán ser fraccionados e incorporados a los rellenos de muro.
- La presencia de roca alterada en general es nula, aunque si existe fracturamiento alto en sectores, pudiendo llegar a 5m de profundidad en zonas de plinto y hasta 15m en zona de vertedero y rápido de descarga.
- Se detecta una zona de fallamiento en el sector del pie de aguas arriba del muro que involucra a los sondajes SVHMN-03, SVHMN-04, SVHMN-12 y SVHMN-13. Este fallamiento no revela rellenos de salvandas arcillosas ni espesores importantes de falla, se trataría de fracturamientos densos atribuibles a fallamiento dado la presencia de los denominados espejos de falla.
- La potencia de los rellenos con aluviales en el fondo del valle sería de unos 5m conforme a los resultados de los sondajes SVHMN-05 y SVHMN-13.
- Las permeabilidades en general son moderadas o bajas con la excepción de las zonas de alto fracturamiento.

ANÁLISIS DE PELIGRO GEOLÓGICO

Barbat (1998, en González de Vallejo, 2012) define el concepto “peligro geológico” como: “Probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica”.

En este estudio el enfoque está dado no en la probabilidad, sino en la posibilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un área específica.

Remociones en masa

- Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de 'movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores' (Hauser, 1993).

Remociones en masa

- El área del Embalse Valle Hermoso estará fundado en rocas sedimentario-volcánicas, con intercalaciones sedimentarias finas. Estas rocas se encuentran cubiertas por una pequeña capa de suelo, de 0,20 a 0,50m de espesor, que en la mayor parte de los casos corresponde a la misma roca afectada por meteorización; de manera que la roca basal se presenta expuesta.
- La roca se presenta dura, impermeable y altamente competente, de buena calidad geotécnica. Por lo que el riesgo de producirse remociones en masa cuando el agua embalsada sature las paredes del área de inundación es mínimo.

Conclusiones

- La construcción y culminación del proyecto de embalse Valle Hermoso, es muy importante para mejorar la calidad de vida de los habitantes que residen en las localidades cercanas a la zona de estudio, ya que permitiría optimizar los sistemas de riego en las actividades agrícolas, para mejorar e impulsar el sector económico de la zona, y también proporcionar con mayor facilidad el líquido vital a los residentes, debido a que éste escasea por causa de los grandes periodos de sequía ocurridos a lo largo de cada año.
- Debido a la calidad del macizo rocoso, que por lo general se presenta duro (> 150 Mpa) y poco alterado, el terreno presenta la capacidad adecuada de soporte para el emplazamiento de las fundaciones de las diversas estructuras. Además, como el suelo es prácticamente nulo a lo largo de toda la zona de estudio. No habrá mayor dificultad para la remoción de los materiales, suelos y rocas, comprometidos en eventuales faenas de excavación.

Conclusiones

- La permeabilidad de la roca se puede deducir a partir de las pruebas Lugeon efectuadas durante el estudio, resumiendo que en general la roca es impermeable existiendo zonas puntualmente con alta permeabilidad, en especial aquellas zonas más superficiales.
- Dado lo anterior, si los cálculos de diseño de la presa arrojaran pérdidas excesivas de agua por escurrimiento subterráneo, se sugiere que se colmaten los poros con la inyección de algún material impermeable en el muro de presa, de acuerdo a los parámetros de profundidad de roca en la cortina de inyecciones y la carga hidráulica sobre la zona de estudio.

Conclusiones

- No hay evidencia de rasgos morfológicos atribuibles a grandes procesos de remociones en masa como deslizamientos, desprendimientos, flujos de barro o reptaciones, ocurridos en el pasado geológico, o indicadores de procesos actuales (coronas de deslizamiento, estrías y grietas) que podrían evolucionar en remociones.
- Se concluye que en general la zona destinada a ser ocupada por el embalse Valle hermoso reúne condiciones o características morfológicas, geológicas, estructurales y geotécnicas favorables para su materialización sin imprevistos.

FIN



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION!!!



Referencias

- ARRAU, L. 2007. Estudio Sísmico La Viñita. Capítulo 6. [Inédito]: 15-20. Santiago.
- ASTUDILLO, F. 2011. Controles determinantes en la geoquímica y mineralogía de los sedimentos fluviales activos en la cuenca de Limarí IV Región de Conquimbo, Chile. Memoria para optar al Título de geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología [Inédito]: 156 pp. Santiago.
- BARRIENTOS, S. 2007. Earthquakes in Chile. In The Geology of Chile (Moreno, T. and Gibbons, W. editors). The Geological Society of London: 263-287. Londres.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Ed. John Wiley & Sons. 251 pp.
- BÖRGEL, R. 1983. Geografía de Chile. Geomorfología. Instituto Geográfico Militar: 373 pp. Santiago.
- BRÜGGEN, M. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar: 374 pp. Santiago.
- CAHILL, T. y ISACKS, B. 1992. Seismicity and Shape of the Subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research*. Vol. **97**, (12): 17.503-17.529.

Referencias

- CAWOOD, P. 2005. Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth Science Reviews*. Vol. **96**, (3): 249-279. Perth.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. y RODRÍGUEZ, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The Geology of Chile* (Moreno, T. and Gibbons, W. editors). The Geological Society: 21-114. Londres.
- ERNST, W. 1975. Systematics of large-scale tectonics and age progressions in Alpine and Circum-Pacific blueschist belts. *Tectonophysics*. Vol. **26**, (3): 229-246.
- ESCOBAR, T. F.; GUZMÁN, S. R. y VIEIRA, G., C. 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco - Concepción – Chillán. Instituto de Investigaciones Geológicas [Inédito]: 49 pp. Santiago.
- GLODNY, J.; LOHRMANN, J.; ECHTLER, H.; GRÄFE, K.; SEIFERT, W.; COLLAO, S. y FIGUEROA, O. 2005. Internal dynamics of a paleoaccretionary wedge: insights from combined isotope tectonochronology and sandbox modelling of the South-Central Chilean forearc. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. **231**, (1-2): 23-39.
- GONZÁLEZ-BONORINO, F. y AGUIRRE, L. 1970. Metamorphic facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau*. Vol. **59**, (3): 979-993. Stuttgart.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, J.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Madrid. 712 pp.
- GONZÁLEZ-FERRÁN, O. 1995. Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 640 pp.

Referencias

- CYGSA. 2007. Estudio de riesgo sísmico embalse Valle Hermoso. Capítulo 4. Informe técnico [Inédito]: 50-63 pp. Santiago.
- HAUSER, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- HOEK, E. 2006. Rock Mass Classification. In Practical Rock Engineering (Hoek, E.). Edición Digital. 237 pp.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2003. Validación y transparencia de riego y sistemas productivos en áreas regadas, Sistema Paloma, IV Región. 200pp.
- KRAMER, S. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 653 pp.
- KOTTEK, M.; GRIESER, C.; BECK, C.; RUDOLF, B. y RUBEL, F. 2006. World Map of Köppen – Geiger Climate Classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.*, Vol. **15**, N° **3**: 259-263.
- LAVENU, A. y CEMBRANO, J. 1999. Compressional- and transpressional- stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore-arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). *Journal of Structural Geology*. Vol. **21**: 1.669-1.691. Santiago.
- LUCASSEN, F.; TRUMBULL, R.; FRANZ, G.; CREIXELL, C.; VÁSQUEZ, P.; ROMER, R. y FIGUEROA, O. 2004. Distinguishing crustal recycling and juvenile additions at active continental margins: the Paleozoic to recent compositional evolution of the Chilean Pacific margin (36-41° S). *Journal of South American Earth Sciences*. N° **17**: 103–119.

Referencias

- MPODOZIS, C. y RAMOS, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources (Ericksen, G.; Cañas, M. and Reinemund, J. editors). Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources: 59-90. Houston.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1960. Contribución al conocimiento geológico de la Cordillera de la Costa de la zona central. *Rev. Mineral.* Vol. **69**: 28-47.
- OYARZUN, R. 2011. Determinación de Parámetros hidrogeológicos a escala de cuenca basado en el análisis de recesión de caudales. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Ambiental. Universidad de la Serena. Facultad de ingeniería. [Inédito]. 104 pp.
- QUEZADA, J. 2012. Estudio Geológico Represa Diuto II. [Inédito]: 37 pp. Concepción.
- QUIÑONES, C. 2010. Lugeon test interpretation, revisited. En: Proceedings of the 30th annual USSD conference, Sacramento, California. Actas I: 405–414. Sacramento.
- RIQUELME, J. 2015. Estudio geológico y geotécnico para factibilidad de diseño del embalse Empedrado, Región de Maule, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción. Departamento de Ciencias de la Tierra. [Inédito]: 77 pp. Concepción.
- SÁNCHEZ, F.J. 2011. Medidas puntuales de permeabilidad (“slug tests”). Universidad de Salamanca. Salamanca. 13 pp.

Referencias

- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2002. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. Santiago.
- TEBBENS, S. y CANDE, S. 1997. Southwest Pacific tectonic evolution from early Oligocene to Present. *Journal of Geophysical Research*. Vol. **102**, (6): 12.061-12.084.
- VAUGHAN, A. y PANKHURST, R. 2008. Tectonic overview of the West Gondwana margin. *Gondwana Research*. Vol. **13**: 150-162.
- WEST, T. 1995. Geology applied to engineering. Prentice Hall. University of Michigan. Estados Unidos. 560 pp.
- WHITLOW, R. 1994. Fundamentos de Mecánica de Suelos. Editorial Continental. México. 589 pp.
- WILLNER, A.; GERDES, A. y MASSONNE, H. 2008. History of crustal growth and recycling at the Pacific convergent margin of South America at latitudes 29°–36° S revealed by a U-Pb and Lu-Hf isotope study of detrital zircon from late Paleozoic accretionary systems. *Chemical Geology*, Vol. **253**, (3): 114-129.
- WILLNER, A.; GLODNY, J.; GERYA, T.; GODOY, E. y MASSONNE, H. 2004. A counterclockwise PT path of high-pressure/low-temperature rocks from the Coastal Cordillera accretionary complex of South Central Chile: Constraints for the early stage of subduction mass flow. *Lithos*, Vol. **75**, (3-4): 283-310 pp.